

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-229753

(43)Date of publication of application : 19.08.1994

(51)Int.Cl.

G01B 21/30

G01B 11/26

H01J 37/28

(21)Application number : 05-203319

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 17.08.1993

(72)Inventor : TODA AKITOSHI

ITO SHUICHI

MIYAMOTO YASUSHI

YAGI AKIRA

(30)Priority

Priority number : 04222902
04329407

Priority date : 21.08.1992
09.12.1992

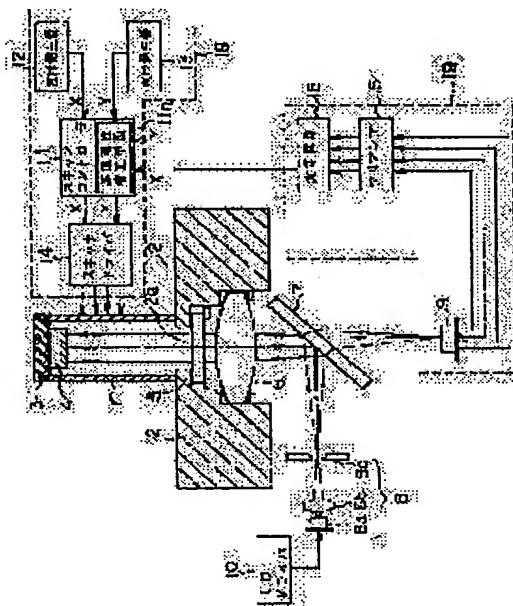
Priority country : JP
JP

(54) SCANNER SYSTEM

(57)Abstract:

PURPOSE: To allow a good scanning by detecting displacement at the free end of a scanner optically and compensating for the displacement inherent to the scanner thereby eliminating the effect of displacement of a piezoelectric element.

CONSTITUTION: A light beam having unidirectional linear polarized component diverged from a light source 8 is converted 5 to have a circularly polarized component and directed to a plane mirror 4. When a scanner 1 is displaced, i.e., when the free end of the scanner 1 is inclining at an angle of θ against a reference state, the light beam incident to the plane mirror 4 is reflected at angle of 2θ with respect to the incident light and the condensed light spot forming position on the light receiving face of a position detector 9 is shifted from the center. An operating circuit 16 then determines the displacement of the scanner 1 based on the output signal from the detector 9. A nonlinearity correcting means 11a for a scan controller 11 corrects a control signal based on a displacement signal from the circuit 16 and applies a voltage selectively to four driving electrodes of the scanner 1 through a scanner driver 14 thus controlling a stage 3 to a desired state.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 04.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3349779

[Date of registration] 13.09.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-229753

(43)公開日 平成6年(1994)8月19日

(51)Int. Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 21/30	Z	9106-2 F		
11/26	Z	9206-2 F		
H 0 1 J 37/28	Z			

審査請求 未請求 請求項の数 1

O L

(全 18 頁)

(21)出願番号 特願平5-203319

(22)出願日 平成5年(1993)8月17日

(31)優先権主張番号 特願平4-222902

(32)優先日 平4(1992)8月21日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願平4-329407

(32)優先日 平4(1992)12月9日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 戸田 明敏

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス光学工業株式会社内

(72)発明者 伊東 修一

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス光学工業株式会社内

(72)発明者 宮本 裕史

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス光学工業株式会社内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

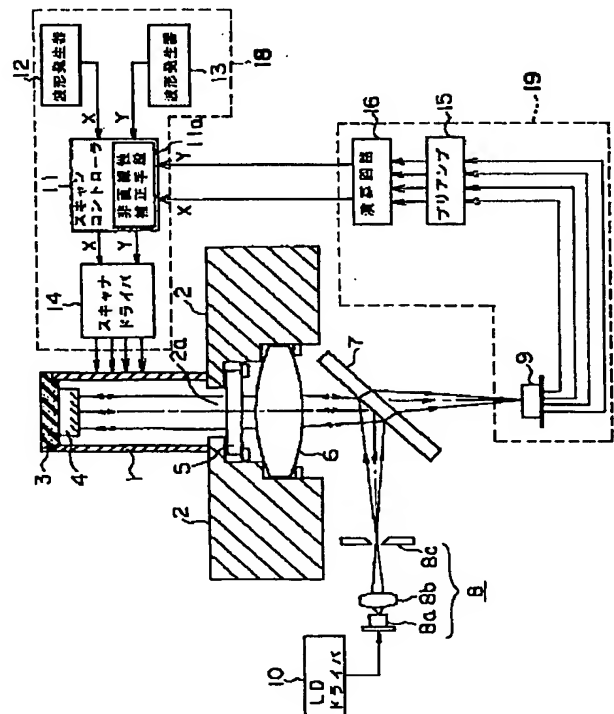
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 スキャナシステム

(57)【要約】

【目的】 圧電体の変位に生じるヒステリシスやクリープ等による影響を除去し、良好な走査を行うことが可能なスキャナシステムを提供する。

【構成】 プローブを支持し、XY方向に変位可能な自由端に設けられた平面鏡4を有する筒状の圧電スキャナ1と、このスキャナ1に電圧を印加して、プローブを試料に対してXY方向に変位させるスキャナドライブ14と、前記スキャナの自由端の変位に対応した前記平面鏡の変位を、ここに入射する光ビームの反射光を光学的に検出して、これら変位に対応する変位信号を出力するポジションディテクタ9と、スキャナの電圧-変位非線形特性を補正する電圧を前記スキャナドライブがスキャナに印加するように、前記変位信号にもとづいて、補正信号を演算回路16で計算し、スキャナドライブに供給するスキャナコントローラ11とを具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 走査部材と試料とを相対的に走査するためのスキャナと、このスキャナの固定端部に対する自由端部の変位を検出するために、この自由端部に設けた測定点の変位を光学的に検出する光学式変位検出手段とを具備する走査型顕微鏡に用いられるスキャナシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば、走査トンネル顕微鏡（STM）や原子間力顕微鏡（AFM）などの走査型プローブ顕微鏡に適用され、プローブのような走査部材を試料に走査させるスキャナシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】例えば特開昭62-130302号公報における「サンプル表面の像を形成する方法及び装置」のように、走査トンネル顕微鏡（STM）や原子間力顕微鏡（AFM）など、簡単な構成で原子サイズレベルの高い縦横分解能を有する走査型プローブ顕微鏡が提案されている。

【0003】このような走査型プローブ顕微鏡で高い分解能を実現するためには、プローブと試料との相対位置を精度良くコントロールできるようなスキャナシステムが必要である。一般には、スキャナシステムには圧電体を用いた、トライボッド型またはチューブ型の圧電体スキャナが用いられている。

【0004】このようなチューブ型の圧電体スキャナ（チューブスキャナ）は、例えばチューブ状に形成された圧電体の内周面に単一の共通電極を設けるとともに、外周面にはその周方向に4つの駆動電極を設けてなる。かくして4つの駆動電極への電圧印加を適宜制御することにより、屈曲や伸縮などにより圧電体の自由端部を3次元的に変位させることができる。圧電体の自由端部にステージを固着し、このステージにプローブまたは試料を支持することにより、圧電体の端部の変位によってプローブにより試料を走査させている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、圧電体は、電圧駆動を行ったときの変位にヒステリシスやクリープ等の現象を示すことが良く知られている。従って、前述のような圧電体スキャナを用いてプローブや試料を走査させた場合、ステージ（すなわちプローブや試料）の移動特性は非直線性（電圧－変位非線形特性）を示す。このような非直線性は、走査型プローブ顕微鏡においては、観測像の歪みとして現れ、定量的な測定の妨げとなるといふ不具合がある。なお、走査部材としては、プローブのみならず、電子ビーム、光ビーム、超音波ビームをここから放出する、例えば開口を有する他の部材が知られている。

【0006】本発明の目的は、圧電体の変位に生じるヒステリシスやクリープ等による影響を除去し、良好な走

査を行うことが可能なスキャナシステムを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】走査型顕微鏡に用いられるスキャナシステムであり、走査部材と試料とを相対的に走査するためのスキャナと、このスキャナの固定端部に対する自由端部の変位を検出するために、この自由端部に設けた測定点の変位を光学的に検出する光学式変位検出手段とを具備することを特徴とする。

【0008】

【作用】スキャナの自由端部の変位を光学的に検出することにより、この検出信号でスキャナ特有の変位を補償することができるように走査型顕微鏡を構成することができる。

【0009】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の第1の実施例につき説明する。図1はこの実施例に係るスキャナシステムの概略構成を一部破断して示す図である。図中、符号1はチューブ型の圧電体スキャナ（以下、スキャナと称する）を示す。このスキャナ1は、詳細な構成の図示は省略しているが、チューブ状に、即ち、両端が開口した円筒状に形成された圧電体の内周面に単一の共通電極を設けるとともに、外周面にはその周方向に4つの駆動電極を設けてなる。このスキャナ1は、その下端が固定台2の上に固定されている。そして、このスキャナ1の上端、即ち自由端には、ステージ3が開口を閉塞するようにして固定されている。このステージ3は上面と下面とが正確に平行となるように形成されている。そして、このステージ3の下面には平面鏡4が、反射面を下に向けて固定されている。前記固定台2には、スキャナ1と同軸的に透孔2aが上面から下面に貫通するように形成されている。この透孔2a内には、1/4波長板5、並びにコリメータレンズ6が、前記平面鏡4と光軸を一致するようにして、配置されている。前記1/4波長板5は、透孔2aの上方小径部に、また、コリメータレンズ6は下方大径部に夫々位置するようにしてステージ3に固定されている。そして、このコリメータレンズ6の下方には、図示しない支持手段により支持されて偏光ビームスプリッタ7が配置されている。さらに、この偏光ビームスプリッタ7の下方には、後述するポジションディテクタ9が配設されている。この偏光ビームスプリッタ7の側方には、光源8が配置されており、偏光ビームスプリッタ7は、光源8より発せられた特定の振動面を持った成分の光ビームを平面鏡4側へと反射する。また、偏光ビームスプリッタ7は、平面鏡4で反射し戻ってきた光ビームを透過して、前記ポジションディテクタ9へと導く。

【0010】前記光源8は、半導体レーザ8aと、この半導体レーザ8aの射出側に順次設けられたレンズ8bと、スペーシャルフィルタ8cとよりなる。半導体レー

ザ8aから発せられた光ビームはレンズ8bによってスペーシャルフィルタ8cの開口部に集光されて、このスペーシャルフィルタ8cを透過した光ビームは発散光となって偏光ビームスプリッタ7へと入射する。尚、符号10は、半導体レーザ8aに電氣的に接続されて、これを駆動して発光させるためのLDドライバを示す。

【0011】前記ポジションディテクタ9は、受光面がレンズ6の焦点面に位置するように配置され、即ち、レンズからスペーシャルフィルタ8cと等光学距離の所に配置され、偏光ビームスプリッタ7を透過した光ビームにより受光面に集光スポットが形成される。そして、このポジションディテクタ9は、この集光スポットの位置を検出する。

【0012】符号11は、後述する非直線性補正手段11aを有するスキャンコントローラを示す。このスキャンコントローラ11の入力側には、第1並びに第2の波形発生器12、13、及び演算回路16の出力側が接続されており、第1の波形発生器12で発生されるX方向の参照電圧および第2の波形発生器13で発生されるY方向の参照電圧に対して所定の処理（後述するフィードバック制御のための処理や、スキャナ1の動きをXY方向から回転させたりずらしたりするための処理など）を行い、X方向およびY方向のそれぞれの制御信号を出力する。このX方向およびY方向のそれぞれの制御信号は、これの出力側に接続されたスキャナドライバ14へと供給される。これらスキャンコントローラ11と、第1並びに第2の波形発生器12、13と、スキャナドライバ14とによりスキャナ駆動／制御部18が構成されている。

【0013】このスキャナドライバ14の出力側は、前記スキャナ1に接続されており、供給される制御信号にて指示される状態にスキャナ1を変位させるように、スキャナ1の4つの駆動電極への選択的な電圧印加を行う。

【0014】前記ポジションディテクタ9の出力側と演算回路16の入力側との間には、プリアンプ15が接続され、ポジションディテクタ9の出力信号（スポットの位置を示す信号）を増幅し、演算回路16へ供給する。演算回路16は、増幅された、ポジションディテクタ9の出力信号からスキャナ1の変位状態を求め、この変位状態を示す変位信号をスキャンコントローラ11に供給する。

【0015】前記スキャンコントローラ11の非直線性補正手段11aは、演算回路16から供給される変位信号に基づいて、生成する制御信号に所定の補正を加える。前記ポジションディテクタ9は、十字線を堺として図2に示すように、縦受光面が4つの領域A、B、C、Dに分割されており、各領域に入射する光ビームの光量に対応する電気信号を得るようになった既知の4分割ホトディテクターよりなる。上記ポジションディテクタ9

と、プリアンプ15と、演算回路16とでスキャナ変位検出部19が構成されている。

【0016】次に、以上のように構成されたスキャナシステムの動作を説明する。まず、スキャナドライバ14がスキャナ1の4つの駆動電極のいずれにも電圧を印加していない状態では、スキャナ1は変位しておらず、基準状態にある。またスキャナドライバ14が、スキャンコントローラ11から出力される制御信号に基づいてスキャナ1の4つの駆動電極に選択的に電圧印加を行うと、その電圧印加の状態に応じた変位がスキャナ1に生じる。

【0017】光源8のスペーシャルフィルタ8cを透過した、一方向の直線偏光成分を有する発散光ビームは、偏光ビームスプリッタ7によって反射されて、レンズ6に入射する。このレンズ6で入射発散光ビームは平行光にされて、1/4波長板5に入射する、この1/4波長板5で入射光ビームの直線偏光成分は円偏光成分に変換される。1/4波長板5を透過した円偏光成分を有する光ビームは、固定台2の透孔2aを出てスキャナ1の内部へと入り、平面鏡4へ入射する。この入射光ビームは平面鏡4で反射されて再度1/4波長板5に入射する。光ビームは1/4波長板5で、前記ビームスプリッタ7で反射されて1/4波長板5に入射する光ビームの直線偏光成分とは方位角が90°回転した直線偏光成分を有する光ビームとなって射出される。この射出平行光ビームは、レンズ6で収束されながら偏光ビームスプリッタ7を透過してポジションディテクタ9に入射し、ポジションディテクタ9の受光面に集光スポットを形成する。

【0018】ここで、スキャナ1が変位していない場合、集光スポットはポジションディテクタ9の受光面の中央に形成される。即ち、夫々等しい光量の光ビームを4つの領域A、B、C、Dに入射させている。

【0019】一方、スキャナ1が例えば図2に示すように変位している場合、スキャナ1の内部に入射した光ビームの光軸に対して平面鏡4が傾いている（例えば、X方向にスキャナ1が変位した場合には平面鏡4はY軸を中心として傾斜する）。従って、光ビームは、平面鏡4に、斜めに入射し、これとは反対方向に反射される。具体的には、スキャナ1の先端が基準状態に対して θ の傾きを有している場合、平面鏡4に入射した光ビームは、入射光とは 2θ の角度をもって反射する。

【0020】平面鏡4で反射された光ビームは、1/4波長板5で直線偏光とされたのち、レンズ6および偏光ビームスプリッタ7を通過して集光しながらポジションディテクタ9に入射し、ポジションディテクタ9の受光面に集光スポットを形成するのに際して、光ビームは平面鏡4において、入射光ビームに対して 2θ の角度で反射しているために、集光スポットの形成位置は平面鏡4の傾き方向に応じてポジションディテクタ9の中心からずれる。

【0021】ここで、ポジションディテクタ9上でのスポットの形成位置のずれ量 d と平面鏡4の傾き角 θ との*

$$d(\theta) = f \cdot \tan(2\theta) = 2 \cdot f \cdot \theta \quad \dots (1)$$

なる関係がある。この式で、 f はレンズ6の焦点距離である。

【0022】同様に、Y方向にスキャナ1が変位した場合には平面鏡4はX軸を中心として傾斜するので、この※

$$d(\psi) = f \cdot \tan(2\psi) = 2 \cdot f \cdot \psi \quad \dots (2)$$

従って、ポジションディテクタ9によりスポットの形成位置のずれ量 d を、各領域A、B、C、Dへの入射光量の比較から、検出することにより、前記(1)式並びに(2)式に基づいて平面鏡4の傾き角 θ 並びに ψ を求めることができる。また、スポットのずれ方向は平面鏡4の傾き方向に対応するので、演算回路16ではポジションディテクタ9の出力信号に基づいて平面鏡4の傾き方向を求める。演算回路16では、ポジションディテクタ9の出力信号に基づいて上記の演算を行うことにより、平面鏡4の傾き角 θ 並びに ψ もしくは ψ を求める。かくして演算回路16では、平面鏡4の傾き角(θ 、 ψ)および傾き方向、すなわちステージ3の傾き角および傾き方向が特定され、ステージ3の状態が検出される。

【0024】演算回路16は、このように求めた情報を、ステージ3のX方向およびY方向のそれぞれの変位を表すモニタ信号に変換し、スキャンコントローラ11に与える。具体的には、ポジションディテクタ9の4つの受光領域のそれぞれでの受光情報をA、B、C、Dとすると、

$$dx = (A+D) - (B+C) \quad \dots (3)$$

$$dy = (A+B) - (C+D) \quad \dots (4)$$

なる式に基づいてモニタ信号 dx 、 dy を得、これをスキャンコントローラ11に与える。

【0025】スキャンコントローラ11では、第1並びに第2の波形発生器12、13のそれぞれから出力される基準波形に基づき、ステージ3を所定状態に変位させるべくX方向およびY方向のそれぞれの制御信号を生成し、この状態で非直線性制御手段11aがモニタ信号を監視し、現在所望とするステージ3の状態とモニタ信号が示す実際のステージ3の状態との偏差を求める。所望とするステージ3の状態と実際のステージ3の状態との間には、スキャナ1を構成する圧電体の変位に生じるヒステリシスやクリープ等によって偏差が生じるので、非直線性制御手段11aはこの偏差を求めるのである。そして、非直線性制御手段11aは、この偏差を補償するように制御信号を変化させる。すなわち、演算回路16にて求められる実際のステージ3の状態が所望とする状態となるようにフィードバック制御を行う。

【0026】かくして本実施例によれば、実際のステージ3の状態(傾き角 θ および傾き方向)が光学的に検出され、この検出される実際のステージ3の状態が所望の状態となるようにフィードバック制御がなされるので、

*間には、

※ときの傾斜角度を ψ とすると、このときのY方向の変位量は次式で表される。

【0023】

スキャナ1を構成する圧電体の変位にヒステリシスやクリープ等が生じていても、これがステージ3の変位に影響することが防止され、ステージ3の状態を良好に制御できる。

【0027】具体的には、スキャナ1に4分割の電極を有する長さ15mmのチューブスキャナを、レンズ6に顕微鏡用の5倍対物レンズ(焦点距離35.9mm)をそれぞれ用いてシステムを構成し、200Vの電圧でスキャナ1を駆動したとき、他の変位系と変位角計とを用いたX方向の変位の測定結果の比較より、このときのスキャナ1のX方向の変位およびステージ3の傾き1.3 μ mに対してステージ3の傾き $\theta=0.35$ 秒であった。(1)式より、これはポジションディテクタ9上のスポットの形成位置のずれ量 d として0.12 μ mである。これを基準としてフィードバック制御を実施したところ、ヒステリシスのないXY操作が実現できた。

【0028】また、STMやAFMにおいては、ステージ3はZ方向(図における上下方向)にも変位させるが、本実施例では平面鏡4に平行光ビームを入射していることにより、(1)式並びに(2)式から分かるようにZ方向の動きに影響されずに、X、Y方向についてのみの変位を検出することが可能である。

【0029】また本実施例によれば、ステージ3の変位を光学的に検出しているので、スキャナ1の駆動電圧などに起因するノイズ混入がなく、安定的な検出が行える。磁気センサや容量センサを用いた場合には、かなりの高電圧であるスキャナ1の駆動電圧などの影響によるノイズの混入が懸念される。

【0030】また本実施例では、ステージ3の変位の検出のために光の干渉を利用していない。光干渉を利用する場合、一波長あるいは半波長を越えるような変位に対しては、サイン波様に変化するセンサ光強度の山の数を数えることになるが、インクリメント方式であるためにスキャナ1の変位が急速である場合にカウントミスなどが避けられず、誤差の原因になるが、本実施例ではこれを回避することができる。

【0031】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではない。例えば上記実施例では、フィードバック制御を行っているが、例えばSTMやAFMの場合には、演算回路16からのモニタ信号に合わせて、XY座標を新たにコンピュータ上におこし、このXY座標上にSTM信号やAFM信号を再配置するような画像処理を行う

ことによっても本発明の目的を達成することができる。

【0032】また上記実施例では、光源8に半導体レーザ8aを配しているが、LEDなどの他の発光手段を適用することも可能であり、LEDを適用した場合には干渉による悪影響が生じることがないので、1/4波長板5を省略し、偏光ビームスプリッタ7の代りにハーフミラーを用いることができ、構成を簡単にすることができる。

【0033】上記実施例において、スキャナ1のXY動作方向と、ポジションディテクタ9のXY方向とは一致させることが好ましい。両者を一致させない場合、ポ

ジションディテクタ9の出力信号に対して処理を行ってその構成を行うことが必要となる。

【0034】以上説明した第1の実施例のシステムスキャナによれば、ステージに設けられた例えば平面鏡などの反射手段と、この反射手段に平行光ビームを入射する、例えば光源、ビームスプリッタおよび1/4波長板よりなる光源手段と、前記反射手段からの反射光ビームを集光し、所定面上にスポットを形成する例えばレンズなどの集光手段と、前記所定面上に配置され、前記所定面上での前記スポットの位置を検出する例えばポジションディテクタなどのスポット検出手段と、このスポット検出手段により検出された前記スポットの位置に基づいて、前記ステージの傾斜角度を求める例えば演算回路などの傾斜角度演算手段とを具備するので、圧電体の変位に生じるヒステリシスやクリープ等による影響を除去し、良好な走査を行うことが可能なスキャナシステムとなる。

【0035】以下、図3を参照して、本発明の第2の実施例に係わるスキャナシステムを原子間力顕微鏡(AFM)に適用した場合について説明する。この実施例並びにこれから説明する他の実施例において、第1の実施例と実質的に同じ部材、並びに先行する実施例と実質的に同じ部材は、同一符号を付して、説明を省略する。

【0036】図3は、本発明の第2の実施例に係る圧電体変位検出装置の構成を示す図である。同図に示すように、マイクロコンピュータ22の出力側にはホストコンピュータ21とZ制御部24、X制御部25、Y制御部26の入力側にそれぞれ接続されており、夫々の制御部24乃至26の出力側は、XYZ駆動用円筒型圧電体により構成されたスキャナ1の夫々対応する電極に接続されている。これら部材でスキャナ駆動/制御部が構成されている。前記スキャナ1上に支持されたステージ3上には、被測定物である試料30が載置されている。この試料30の上方にはカンチレバー28が設けられてい

る。このカンチレバー変位検出部27に接続されている。このカンチレバー変位検出部27の出力側はA/D変換部23を介しての前記マイクロコンピュータ22の入力側に接続されている。

【0037】スキャナ1の下方に設けられたスキャナ変位検出部19の出力側は上記Z制御部24の入力側に接続されている。このような構成において、カンチレバー変位検出部27は、試料の上面の凹凸等に対応し、試料と探針との間に生じる原子間力なよる探針のZ方向の変位を、即ち、カンチレバー28の自由端の変位を検出し、変位信号S1をA/D変換部23を介して、マイクロコンピュータ22に出力する。この出力信号にもとずいて、ホストコンピュータ21は、マイクロコンピュータ22から転送された測定データを格納し試料の表面状態を示す画像を形成する。また、マイクロコンピュータ22は、X制御部25、Y制御部26を介して、XYZ駆動用円筒型圧電体1を2次元走査するように制御しながら測定を行い、その測定データを同時にホストコンピュータ21に転送する。

【0038】上記マイクロコンピュータ22は、A/D変換部23から読み出される情報に基づいて、Z制御部24を介してスキャナ1をZ方向に伸縮させる。このときに、変位信号S1を一定値に保つようにZ制御し、当該Z制御データを測定データとする。但し、Z制御部24はスキャナ変位検出部19から検出されたZ変位信号S5がフィードバックされるように構成されているので、Z制御データとスキャナの変位の関係は直線的にマイクロコンピュータ22により補正されており、画像形成されたZ方向凹凸情報は精度良く再現されている。

【0039】次に、図4を参照して、Z方向変位検出機構の光学系について説明する。同図に示すように、スキャナ1はその下端が鏡体33の下部を構成するに固定台2に固定されており、その上端にはステージ3が配置されている。そして、このステージ3の下面にはフォトディテクタ32aが受光面を下向きに固定されている。前記固定台2の上面にはスキャナ1と同軸的に固定穴が形成されており、この内部には、レーザダイオード32eとコリメータレンズ32dが前記フォトディテクタ32aと光軸を等しくして、固定されている。レーザダイオード32eから発光された光ビームはコリメータレンズ32dによって平行光ビームとなって、スキャナ1の内側を上方に向かうように、両者は配置されている。

【0040】前記スキャナ1内にはこれと同軸的に光学系支持部32cが設けられており、この上端には、前記フォトディテクタ32aと対面するようにして集光レンズ32bが装着されている。この集光レンズ32bは、前記コリメータレンズ32dからの平行光ビームをフォトディテクタ32aに向かって集光するように位置合わせされているが、この集光レンズ32bとフォトディテクタ32aとは、集光レンズ32bの焦点距離よりも短

くかつ、図5に示すように、受光面41よりも集光スポット42の方が大きくなるように、所定間隔を有して配置されている。

【0041】このように、第2の実施例のシステムでは、従来の走査型プローブ顕微鏡の試料微動機構であるスキャナ1の上端、即ち、自由端に受光素子であるフォトディテクタ32aを付加し、更に、この下側に光源であるレーザーダイオード32eと該レーザーダイオード32eから発光された光ビームをフォトディテクタ32aへ集光するコリメータレンズ32bとが付加されている。このフォトディテクタ32aの受光面を集光レンズ32bの焦点位置より内側にずらして、集光スポットが受光面より大きくなるように調整されている。

【0042】そして、従来と同様に、試料表面と探針先端を一定距離に保つように、Z方向制御(Zサーボ)部24によってスキャナ1を伸縮させて、試料30をZ方向に移動させながら2次元方向にXY走査すると、フォトディテクタ32aで検出した光量の変化がスキャナ1の伸縮の変化となり、フォトディテクタ32aで検出した光量を、試料表面の凹凸信号として画像形成することによって、精度良く凹凸情報を得ることができる。

【0043】図5(a)ないし(c)は、上記スキャナ1がZ方向に伸縮したときの受光面41と集光スポット42との関係を示す図である。図5(a)は、スキャナ1がZ方向に縮んだとき、図5(b)は、スキャナ1が標準長のとき、図5(c)は、スキャナ1がZ方向に伸びたときの様子をそれぞれ示す。この図から理解できるように、上記スキャナ1のZ方向への伸縮に従って、集光スポット42の直径が変化する。この結果、受光面41で受光する光量Pもスキャナ1の伸縮にしたがって変化し、図5(a)、(b)、(c)の状態での受光光量をそれぞれPa、Pb、Pcとすると、 $P_a < P_b < P_c$

の関係が成り立つ。従って、スキャナ1のZ方向の変位をフォトディテクタ32aで受光する光量の変化から検出することができる。

【0044】次に、図6を参照して、第3の実施例を説明する。この実施例の場合、第2の実施例の構成と比べると、スキャナ変位検出部19の出力側はZ制御部24に接続されているのではなく、出力側が接続、A/D変換部51を介してマイクロコンピュータ22に接続される点が相違する。

【0045】このマイクロコンピュータ22は、X制御部25、Y制御部26を介して、スキャナ1を2次元走査するように制御しながら、カンチレバー変位検出部27並びにA/D変換部23を介して送られてきた変位測定データをホストコンピュータ21に転送する。

【0046】マイクロコンピュータ22は、A/D変換部23から読み出される情報に基づいて、Z制御部24を介してスキャナ1をZ方向に伸縮させる。即ち、変位

信号S1を一定値に保つようにZ制御し、そのZ制御データを測定データとする。スキャナ変位検出部19で測定されたZ変位信号S5はA/D変換部51へ出力され、このA/D変換部51から読み出したZ変位データは測定データとして画像が形成されるので、この実施例においても第2の実施例と同様の効果を得ることができる。

【0047】次に、第4の実施例を図7(a)~(c)並びに図8を参照して説明する。この実施例では、図8に示すように、図3に示す実施例と比べて、スキャナ変位検出部19からの信号は、Z制御部24にのみ供給されるのではなく、Z制御部24、X制御部25、Y制御部26にそれぞれ信号S5~S7としてフィードバックされるように、これら制御部とスキャナ変位検出部19に接続されている。この実施例では、Z制御部24はスキャナ変位検出部19から検出されたZ変位信号S5がフィードバックされるように構成され、X制御部、Y制御部26はスキャナ変位検出部19から検出されたX変位信号S6と、Y変位信号S7とがフィードバックされるように構成されているので、X、Y、Z制御データとスキャナ変位の関係は直線的に補正されており、画像形成された凹凸情報は3次元とも精度良く再現されている。尚、各変位信号S5、S6、S7を直接A/D変換部へ出力し、A/D変換したデータを測定データとして画像形成しても同様の効果が得られる。

【0048】この実施例では、図7に示すように、受光素子として、その受光面が中央に位置する中心受光領域41aと、この周辺に位置し、X方向並びにY方向に夫々対称な4つの周辺受光領域41b~41eとに、5分割されたフォトディテクタ32aを用い、このフォトディテクタ32aは、スキャナ1のどのZ方向変位状態においても、集光スポット42が全受光面よりも小さくて、中央受光面41aよりも大きくなるように設定されている。

【0049】そして、XYX走査では、中央受光領域41aで検出した光量の変化がスキャナ1のZ方向の伸縮の変化となり、周辺受光領域41b~41eで検出した光量の差分の変化がX変位、Y変位となるので、中央受光面で検出した光量を、試料表面の凹凸信号とし、X対称受光領域、Y対称受光領域の各々の光量差をX信号、Y信号として画像形成することにより、精度良く3次元情報を得ることができる。

【0050】図7(a)は試料を図中、“+X方向”に走査したとき、図7(b)は試料が走査中心位置にあるとき、図7(c)は試料が図中、“-X方向”に走査したときの様子をそれぞれ示す図である。

【0051】図7(a)乃至(c)に示されるように、走査に従って集光スポット42がフォトディテクタ32aの受光面上を移動して、各周辺受光領域41b~eで受光する光量Pも変化している。このとき、夫々の受光

領域41a~41eでの受光量をそれぞれPa~Peとし、

$$Px = (Pb + Pc) - (Pd - Pe) \quad \cdots (5)$$

とすると、図7(a)~(c)のPxの大きさをPx1~Px3とすると、次式のような関係が成立する。

【0052】

$$Px1 < Px2 < Px3 \quad \cdots (6)$$

このとき、X方向の変位を上記Pxで表すことができる。Y方向の変位も同様にもとめられる。この結果、スキャナ1のフォトディテクタ32aで受光する周辺受光領域面41b~41eの光量の演算値の変化から2次元方向の変位を検出することができる。また、第2実施例と同様にして、中央受光領域41aの光量の変化を検出することで、スキャナ1のZ方向の変位を検出することができる。

【0053】次に、第1の実施例と同様に、ステージに平面鏡が設けられた形式の光学式変位センサーを使用した第5の実施例に係わるスキャナシステムを原子間力顕微鏡について、図9並びに図10を参照している。

【0054】まず、図9に示すように、この実施例の光学式変位センサーでは、固定台2には、スキャナ1内に突出するようにして、筒状のレンズ保持機構60が設けられ、この上端にコリメータレンズ6が平面鏡4と所定間隔を有して対面するように装着されている。このレンズ保持機構60には、スキャナ1に対して、これと同軸的に上下方向に移動調節されるようにレンズ位置調整機構61が設けられている。この機構61により、コリメータレンズ6の焦点が平面鏡4上となるように、両者間の距離が調整される。

【0055】前記レンズ保持機構60の下側にはビームスプリッタ7が配置され、また、このビームスプリッタ7の側方には、LDドライバ10により駆動され半導体レーザ8aと、このレーザからの射出光ビームを平行光ビームに整形するコリメータレンズ8bとからなる光源8が配置されている。

【0056】前記ビームスプリッター7は、コリメータレンズ8bからの平行光ビームが入射され、これを上方に垂直に反射する反射面を有する異形プリズム64と、この反射光ビームを透過すると共に、平面鏡4からの反射光ビームを直角に反射する第1のハーフミラー62と、この第1のハーフミラー62からの反射光ビームを透過光ビームと反射光ビームとに分離する第2のハーフミラー63とにより構成されている。

【0057】前記第2のハーフミラー63の透過側には、ここからの反射光ビームに対して、ほぼ臨界角になるように設定された反射面を有する臨界角プリズム65が配置されている。前記第2のハーフミラー63と臨界角プリズムとの反射側には、フォトダイオードで形成された第1並びに第2のポジションディテクタ9a、9bが夫々配置されている。これらポジションディテクタ9

a、9bの受光面は、図9に示すように、夫々4つの受光領域b1~b4、a1~a4に分離されている。

【0058】次に、上記構成のスキャナシステムの動作を以下に説明する。スキャナ1の4つの電極に選択的に電圧を印加して、スキャナ1を駆動する。このときに、光源8から射出された平行光ビームよりなる楕円ビームは異形プリズム64で整形されて真円ビームとなって、上方に反射される。この反射平行光ビームは第1のハーフミラー62を透過してコリメータレンズ6に、レンズ保持機構60内を通過して、入射する。この入射光ビームは、このコリメータレンズ6により、ステージ3の下面に取着された平面鏡4の表面に集光されると共に反射される。この反射光ビームはコリメータレンズ6によって平行光ビームとなって第1のハーフミラー62に入射し、ここで反射されて第2のハーフミラー63に入射する。この入射光ビームは、第2のハーフミラー63により、第1のポジションディテクタ9aへと反射され、この受光面に第1の集光スポットA1を形成する第1の光ビームと、透過される第2の光ビームとに分離される。この第2の光ビームは臨界角プリズム65で第2のポジションディテクタ9bへと反射され、この受光面に第2の集光スポットA1を形成する。

【0059】この実施例においても、第1の実施例と同様の原理により、スキャナ1のX方向並びにY方向の変位が、ポジションディテクタ上の集光スポットの変位として検出される。この場合、第1のポジションディテクタ9aと、第2のポジションディテクタ9bとには、同じ変位d(ψ)で、同じ光量の集光スポットA1、A2が形成されるが、Z方向に変位されると、これに従って第2のポジションディテクタ9bの集光スポットA2の光量は変化する。この理由を以下に説明する。

【0060】平面鏡4の位置はコリメータレンズ6の焦点位置からずれるので、臨界角プリズム65で反射された光ビームの光量が、平面鏡4のZ方向の変位に応じて変化する。この結果、第2のポジションディテクタ9bに入射する集光スポットA2の光量が変化するので、この変化量を求めれば、Z方向の変位を知ることができる。このように臨界角を用いて、光軸方向の変位を検出する方法は、例えば、特開昭56-7246号により知られている。

【0061】例えば、スキャナ1が+Z方向に変位したとき、臨界角プリズム65により反射された第2のポジションディテクタ9bへの入射光ビームの集光スポットA2は中心から受光領域a1、a2側の部分の光量が減少し、受光領域a3、a4側の部分の光量が変化しない真円となる。このように、第2のポジションディテクタ9b上での真円の集光スポットの光量分布の差量d

(Z)を測定することにより、スキャナ1の+Z方向の変位量を検出することができる。

【0062】上記原理により、XYZ方向の各変位をこ

の実施例では、検出することができるが、各方向の変位が、他の方向の変位検出に及ぼす影響は以下に説明するように無視することができる。

【0063】Z変位検出にXY変位が及ぼす影響に関して；臨界角プリズム65への入射光ビームに対する臨界角は、紙面に平行な平面内の角度であるために、スキャナ1の紙面内の角度変化 ψ の影響を受けるが、スキャナ1の紙面に垂直な面内の角度変化 θ の影響は受けない。そこで前者の角度変化 ψ の影響のみを考慮すればよい。即ち、スキャナ1がXYZ方向に同時に変位したとき、第2のポジションディテクタ9b上での集光スポットA2のY方向の変位量は、スキャナ1のZ方向の変位とY方向の変位との両方の情報を含む。一方、第1のポジションディテクタ9a上での集光スポットA1のY方向の変位量は、スキャナ1のY方向の変位の情報のみを検出する。従って、第2のポジションディテクタ9bの出力情報から第1のポジションディテクタ9aの出力情報を以下のように減算することにより、スキャナ1のZ方向の変位のみを検出することができる。ここで、第1のポジションディテクタ9aの4つの受光領域b1~b4の受光量をB1~B4、また第2のポジションディテクタ9bの4つの受光領域a1~a4の受光量をA1~A4とすると、Z方向の変位量dZは次式で表される。 *

$$X = (B1 + B3) - (B2 + B4) \quad \dots (9)$$

$$Y = (B3 + B4) - (B1 + B2) \quad \dots (10)$$

かくして、この実施例のシステムで、スキャナ1、即ち、ステージ3のXYZ方向の3次元的な位置を光学的につねにモニターすることができる。

【0068】次に、図10を参照して上記光学式変位センサーを使用したスキャナシステムを説明する。図中、符号71は、光学系ユニットを示し、前記ビームスプリッタ7と、光源8と、第1並びに第2のポジションディテクタ9a、9bとを有する。これら第1並びに第2のポジションディテクタ9a、9bからの測定信号は、プリアンプ15で、それぞれ増幅されて、演算回路16に入力される。この演算回路16で、前記(7)式、

(9)式並びに(10)式に従って、入力信号の演算が行われてスキャナ1のXYZ方向の変位が求められる。この演算処理情報は、スキャンコントローラ11に入力される。このスキャンコントローラ11の入力側には、Z方向の参照電圧を発生する第3の波形発生器70が、第1並びに第2の波形発生器12、13と同様に接続されている。このスキャンコントローラ11では第1ないし第3の波形発生器12、13、70で発生されるX方向、Y方向並びにZ方向の参照電圧に対して所定の処理(フィードバック制御のための処理や、スキャナ1の動きをXY平面で回転させたり、ずらしたりするための処理など)を行い、X方向、Y方向並びにZ方向のそれぞれの制御信号を出力する。これら制御信号は、スキャナドライバ14に入力され、このスキャナドライバ14は

$$* [0064] dZ = (A3 + A4) - (A1 + A2) - k [(B3 + B4) - (B1 + B2)] \quad \dots (7)$$

ここで、kは適当な定数である。

【0065】XY変位検出にZ変位が及ぼす影響に関して；上述した原理により、スキャナ1がX方向みに変位したときには、角度変化 θ を伴い、そのときの第1のポジションディテクタ9a上での集光スポットA1の変位量d(θ)は、第1の実施例で説明した(1)式のように成る。ここで、スキャナ1がX方向とZ方向とに同時に変位したときには、(1)式は、次のように成る。

$$[0066] d(\theta) = 2 \cdot (f + Z) \cdot \theta \quad \dots (8)$$

具体的には、 $f = 4 \text{ mm}$ 、 $Z = 0.005 \text{ mm}$ 程度であるために、d(θ)は、Z方向の変位がないときに比べて、0.1パーセント程度しか変わらない。従って、X方向の変位の検出に及ぼすZ方向の変位の影響は、無視できる。Y方向の変位の検出に及ぼすZ方向の変位の影響についても同様のことがいえる。従って、スキャナ1がX方向と、Y方向と、Z方向とに同時に変位したときのX方向と、Y方向との変位は、夫々次のような演算をすることにより求められる。

$$[0067]$$

供給された制御信号にて指示された状態にスキャナ1を変位させるようにスキャナ1の電極に電圧を選択的に印加する。

【0069】この実施例においても、スキャンコントローラ11は、第1の実施例と同様に、演算回路16から供給される変位信号に基づいて、生成する制御信号に所定の補正を加える非直線性補正手段11aを有している。

【0070】上記第5の実施例のAMFの動作は、Z方向の変位の補正を付加した以外は、第1の実施例の動作と同じようになされ、ステージ3の状態を3次元的に制御することができる。

【0071】また、図9に示すスキャナシステムを用いれば、ステージ3上に固定した物の位置を3次元的に所望の状態になるように制御できる。例えば、ステージ3の上面にミラーを固定すれば、ミラーの θ 、 ψ 方向の角度変位やZ方向の変位を所望の状態になるように制御できる等、このスキャナシステムは汎用性がある。さらに、この実施例では、第1の実施例で説明した効果を有することは自明であろう。

【0072】次に、図10に示したスキャナシステムを応用した走査型プローブ顕微鏡(STM)を図11を参照して説明する。図11中、符号80はプローブを示し、このプローブ80は、これと試料30との間に働く相互作用、例えば、トンネル電流、摩擦力、磁気力、原

子間力、によりZ方向に変異可能となっている。そして、このに変位はプローブ変位センサー81により検出される。このプローブ変位センサー81の出力側は前記スキャンコントローラ11の入力側に接続されている。また、前記演算回路16の出力側は、試料30のSPM像を表示するためのSPM表示装置82に接続されている。

【0073】実際のSPM測定に際しては、スキャナ1のXY方向の変位のみ、光学式変位センサーによる検出信号にしたがって、フィードバック制御を行い、スキャナ1のZ方向の変位はプローブ変位センサー81による検出信号にしたがってフィードバック制御を行っている。

【0074】スキャンコントローラ11では、第1並びに第2の波形発生器12, 13の夫々から出力される基準波形に基づき、ステージ3を所定状態に変位させるようにX, Y方向の夫々の制御信号を生成しているが、この状態で非直線性制御手段11aが演算回路16から得られる変位信号を監視し、現在所望とするステージ3の状態と、XY変位信号が示す実際のステージ3の状態との偏差が求められる。そして、非直線性制御手段11aにより、この偏差を補償するようにXY方向の制御信号が変化される。即ち、演算回路16で求められる実際のステージ3の走査が所望の走査となるようにXY方向のフィードバック制御が行われる。

【0075】上述したようなXY走査を行うことによって、試料30は、プローブ80により走査される。このときに、試料30とプローブ80との間に働く相互作用により、プローブ80が変位し、この変位はプローブ変位センサー81により検出され、この変位に応じた変位信号がスキャンコントローラ11に供給される。同時に、プローブ80の位置が所望の状態になるように、第3の波形発生器70から基準信号がスキャンコントローラ11に与えられる。この結果、スキャンコントローラ11により、プローブ変位センサー81からのプローブ変位信号と、波形発生器70からの基準信号との偏差が求められ、この偏差を補償するようなZ信号がスキャナドライバ14を介してスキャナ1に供給される。かくして、プローブ80と試料30との間に働く相互作用が、第3の波形発生器70から出力される基準信号にしたがって一定値になるようにスキャナ1はZ方向に変位去れる。このZ方向の変位量は、プローブ80と試料30との間に働く相互作用に比例するので、このZ方向の変位量をMIQ \geq することにより、相互作用の分布状態、即ち、SPM像が得られる。

【0076】次にSPM像の表示方法について説明する。上述したようにSPM測定中に、演算回路16から得られるX信号とY信号とは、走査中のプローブ80に対する試料30の位置を示し、また、Z信号は、プローブ80と試料30との間に働く相互作用を示すので、こ

れら信号をSPM像表示装置82に与え、表示させることによりSPM像が得られる。

【0077】このときに得られるSPM像は、スキャナ1のXYZ方向の変位を直接、この光学式変位センサーにより、モニターすることにより得られるので、3次元的に歪みのない像となる。また、このとき、SPM像表示装置82に与えられるXY信号は演算回路16からの信号ではなく、波形成型器12, 13からの信号が与えられても全く同じ結果が得られるので、SPM像表示装置82の入力側を、波形発生器の出力側に接続しても良い。

【0078】次に、第7の実施例に係わるスキャナシステムを応用した走査型プローブ顕微鏡(STM)を図12を参照して説明する。この実施例では、スキャナ1は上端が、図示しない固定台に固定されており、下端が自由端となっている。そして、このスキャナ1の上方に光学系ユニット71が設けられ、また、下端にステージ3が取着されている。このステージ3の上面に平面鏡4が固定されており、この平面鏡4により、光学系ユニット71からコリメータレンズ6を介して入射する光ビームは光学系ユニット71に反射される。この光学系ユニット71は、前記実施例と同じように反射光ビームからスキャナ1の変位を検出し、プリアンプ15に出力する。

【0079】前記ステージ3の下面には、プローブ80が下方に向けて、その基端で取着されている。このプローブ80の先端近くの下方には、試料台83が設けられている。この試料台83の上面には、プローブ80の先端と微小間隔を有するようにして試料30が支持されている。

【0080】この実施例の装置においても、第5の実施例と同様のSPM測定を行うことにより、ゆがみのないSPM像が得られる。さらに、この実施例の装置では、第5の実施例のもののようなプローブスキャン型のSPMを用いても測定できないような大きな試料をSPM測定できる効果がある。従って、大きな試料をSPM測定したときのSPM像の3次元的なゆがみも補正できる。

【0081】次に、第8の実施例に係わるSPM装置を、図13を参照して説明する。この実施例の装置は、図11に示す第5の実施例のものと、スキャナ1のXY走査をフィードバック制御しない点を除いては、実質的に同じである。即ち、第1並びに第2の波形成型器12, 13から夫々出力されるX基準信号並びにY基準信号により、スキャナ1はオープン制御される。ただし、第5の実施例の場合と同様に、スキャナ1のZ方向の変位は、プローブ変位センサー81からの信号にもとずき、フィードバック制御され、また、このときには、演算回路16からは、プローブ80に対する試料30のXY座標に対応したXY信号、並びに、XY座標におけるスキャナ1のZ変位信号がSPM像表示装置82に与えられる。このZ変位信号は、第5の実施例の場合と同様

に、試料30とプローブ80との間の相互作用に比例した信号になっている。

【0082】この第8の実施例の装置においても、SPM像表示装置82にプローブ80のX位置と、Y位置とが、その位置においてプローブ80に働く相互作用情報が供給される。そして、このSPM像表示装置82により、プローブ80のXY位置の情報にしたがって、プローブ80に働く相互作用情報をマッピングすれば前記実施例と同様にゆがみのないSPM像が得られる。

【0083】第8の実施例の装置においては、スキャンコントローラ11にスキャナ1のX方向とY方向とに対する非直線性制御手段を設ける必要がないので構成が簡単となる。

【0084】次に、第9の実施例に係わる装置を図14を参照して説明する。この実施例の装置は、図8に示す第4の実施例のものと、光学式変位センサー内の第2のハーフミラー63と第1のポジションディテクタ9aとの間に臨界角プリズム90が付加されている点を除いては、実質的に同じである。このような構成にすることにより、ハーフミラー63で分岐された光ビームが、夫々*20

$$d(\psi) = (A3 + A4) - (A1 + A2) \quad \dots (11)$$

$$d(\theta) = (A1 + A3) - (A2 + A4) \quad \dots (12)$$

$$d(z) = (A3 + A4) - (A1 + A2) \quad \dots (13)$$

上記(11)式と(13)式とにより、

$$d(\psi) + d(z) = 2 \{ (A3 + A4) - (A1 + A2) \} \quad \dots (14)$$

また、第1のポジションディテクタ9a上の集光スポットの位置と光量分布も、スキャナ1の ψ 、 θ 、Z方向の変位に対して、同じように変化し、 $d(\psi)$ 、 d

$$d(\psi) = (B2 + B4) - (B1 + B3) \quad \dots (15)$$

$$d(\theta) = (B1 + B2) - (B3 + B4) \quad \dots (16)$$

$$d(z) = (B1 + B3) - (B2 + B4) \quad \dots (17)$$

上記(15)式と(16)式とにより、

$$d(\psi) - d(z) = 2 \{ (B2 + B4) - (B1 + B3) \} \quad \dots (18)$$

また、上記(14)式と(18)式とにより、

$$2 \cdot d(\psi) = 2 \{ (A3 + A4) - (A1 + A2) + (B2 + B4) - (B1 + B3) \} \quad \dots (19)$$

そして、上記(14)式と(18)式とにより、

$$2 \cdot d(z) = 2 \{ (A3 + A4) - (A1 + A2) - \{ (B2 + B4) - (B1 + B3) \} \} \quad \dots (20)$$

また、上記(8)式と(12)式とにより、

$$2 \cdot d(\theta) = (A1 + A3) - (A2 + A4) + (B1 + B2) - (B3 + B4) \quad \dots (21)$$

となる。

【0088】ここで、 $d(\theta)$ 、 $d(\psi)$ 、 $d(z)$ は、スキャナ1のX、Y、Z方向の変位に比例するので、

$$X = (A1 + A3) - (A2 + A4) + (B1 + B2) - (B3 + B4) \quad \dots (22)$$

$$Y = (A3 + A4) - (A1 + A2) + (B2 + B4) - (B1 + B3) \quad \dots (23)$$

*臨界角プリズム65、90を通るので、第1のポジションディテクタ9a上での集光スポットA1と、第2のポジションディテクタ9b上での集光スポットA2とは光量、並びに位置の変化量が同じになる。。このため、この実施例では、夫々のポジションディテクタ9a、9bからの出力信号を演算した結果の誤差が、原理的にはゼロになるという効果がある。

【0085】次に、スキャナ1のXYZ方向の変位の検出方法について説明する。スキャナ1が ψ 、並びに θ 方向に回動変位したときの、第2のポジションディテクタ9b上の第2の集光スポットA2の変位と、スキャナ1がZ方向に変位したときの第2の集光スポットA2の光量分布の変化は第4の実施例の場合と同じである。したがって、スキャナ1が ψ 、並びに θ 方向に変位するとき、この第2の集光スポットの変位量を $d(\psi)$ 、 $d(\theta)$ とし、スキャナ1がZ方向に変位したときの第2の左右の光量分布の差を $d(z)$ とすると、以下のような演算を行うことにより、 $d(\psi)$ 、 $d(\theta)$ 、 $d(z)$ を求めることができる。

【0086】

* $d(\theta)$ 、 $d(z)$ は以下のようになる。

【0087】

* d

$$d(\psi) = (B2 + B4) - (B1 + B3) \quad \dots (15)$$

$$d(\theta) = (B1 + B2) - (B3 + B4) \quad \dots (16)$$

$$d(z) = (B1 + B3) - (B2 + B4) \quad \dots (17)$$

$$Z = 2 \{ (A3 + A4) - (A1 + A2) - \{ (B2 + B4) - (B1 + B3) \} \} \quad \dots (24)$$

となる。この(22)式と、(23)式と、(24)式とによりスキャナ1のX方向と、Y方向と、Z方向との変位を検出することができる。

【0089】このように、この実施例では、光学式変位センサーのハーフミラー63と、第1のポジションディテクタ9aとの間に、臨界プリズム90を付加されているので、両ポジションディテクタ9a、9b上での夫々の集光スポットの光量と位置の変化量とが同じになり、このために、夫々のポジションディテクタからの出力を演算した結果の誤差も原理的にはゼロになり、より精密な測定ができる効果がある。

【0090】この第9実施例の装置のように、光学式変位センサー内の第2のハーフミラー63と第1のポジションディテクタ9aとの間に臨界角プリズム90を付加する技術は、第5ないし第8実施例の装置にも適用でき

ることはもちろんである。

【0091】尚、上記夫々の実施例では、装置全体を小形にするために、スキャナ1の変位を測定するための測定光ビームを円筒状のスキャナ1内を通すようにしたが、このような構成に本発明の技術は限定されるものではなく、図15に示すように、平面鏡4をスキャナ1の外側でステージ3の下側に装着しても良い。この場合にはコリメータレンズ6並びに光学系ユニット71もスキャナ1の外側に配置することにより、部品の配置、保守点検が容易となる効果がある。この場合にも、平面鏡4

【0092】図16は、本発明の基本思想であるスキャナを構成する圧電体の変位の補正をしない場合の、圧電体への印加電圧と、圧電体の変位との関係を示す。この図で理解できるように、印加電圧の増減に従って、圧電体は直線的には変形しない。

【0093】上記実施例では、走査部材としてプローブを使用した。が、顕微鏡の種類に応じて他の形態のものを使用され、電子ビーム、光ビーム、超音波ビームをここから放出する、例えば開口を有する他の部材でも良い。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例に係るスキャナシステムの概略構成を一部破断して示す図である。

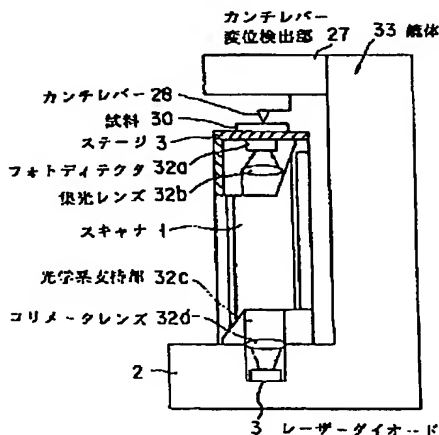
【図2】図1に示すスキャナシステムの光学系ユニットを、スキャナが変形された状態で示す図である。

【図3】本発明の第2の実施例に係る、スキャナシステムを使用した走査型プローブ顕微鏡を示す図である。

【図4】図3に示す装置のZ方向変位検出機構を示す図である。

【図5】(a)ないし(c)は、図4に示すZ方向変位検出機構の動作を説明するための図で、受光面と集光スポットとの夫々ことなる位置関係を示す。

【図4】



【図6】図6は、第3の実施例に係る走査型プローブ顕微鏡を説明するための図である。

【図7】(a)ないし(c)は、第4の実施例の走査型プローブ顕微鏡の変位検出機構の動作を説明するための図で、受光面と集光スポットとの夫々ことなる位置関係を示す。

【図8】図7に示す動作原理にもとずく、第4の実施例に係る走査型プローブ顕微鏡の全体を概略的に示す図である。

【図9】第5の実施例に係るスキャナシステムを示す図である。

【図10】図9に示すスキャナシステムを使用した走査型プローブ顕微鏡を概略的に示す図である。

【図11】第6の原子間力顕微鏡を概略的に示す図である。

【図12】第7の原子間力顕微鏡を概略的に示す図である。

【図13】第8の原子間力顕微鏡を概略的に示す図である。

【図14】第9の原子間力顕微鏡を説明するための図で、(a)は全体を概略的に示し、(b)は第1のポジションディテクタの平面図、そして(c)は第2のポジションディテクタの平面図である。

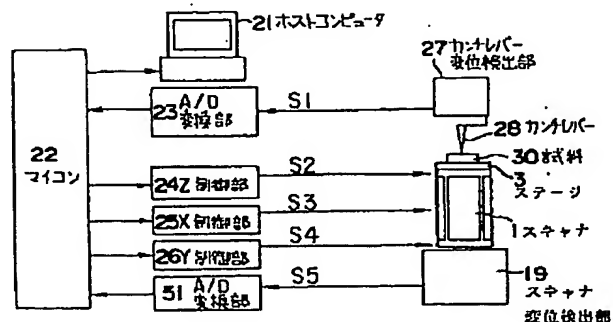
【図15】本発明に係るスキャナシステムの変形例を説明する図である。

【図16】従来の装置での、圧電体への印加電圧と圧電体の変位との関係を示す線図である。

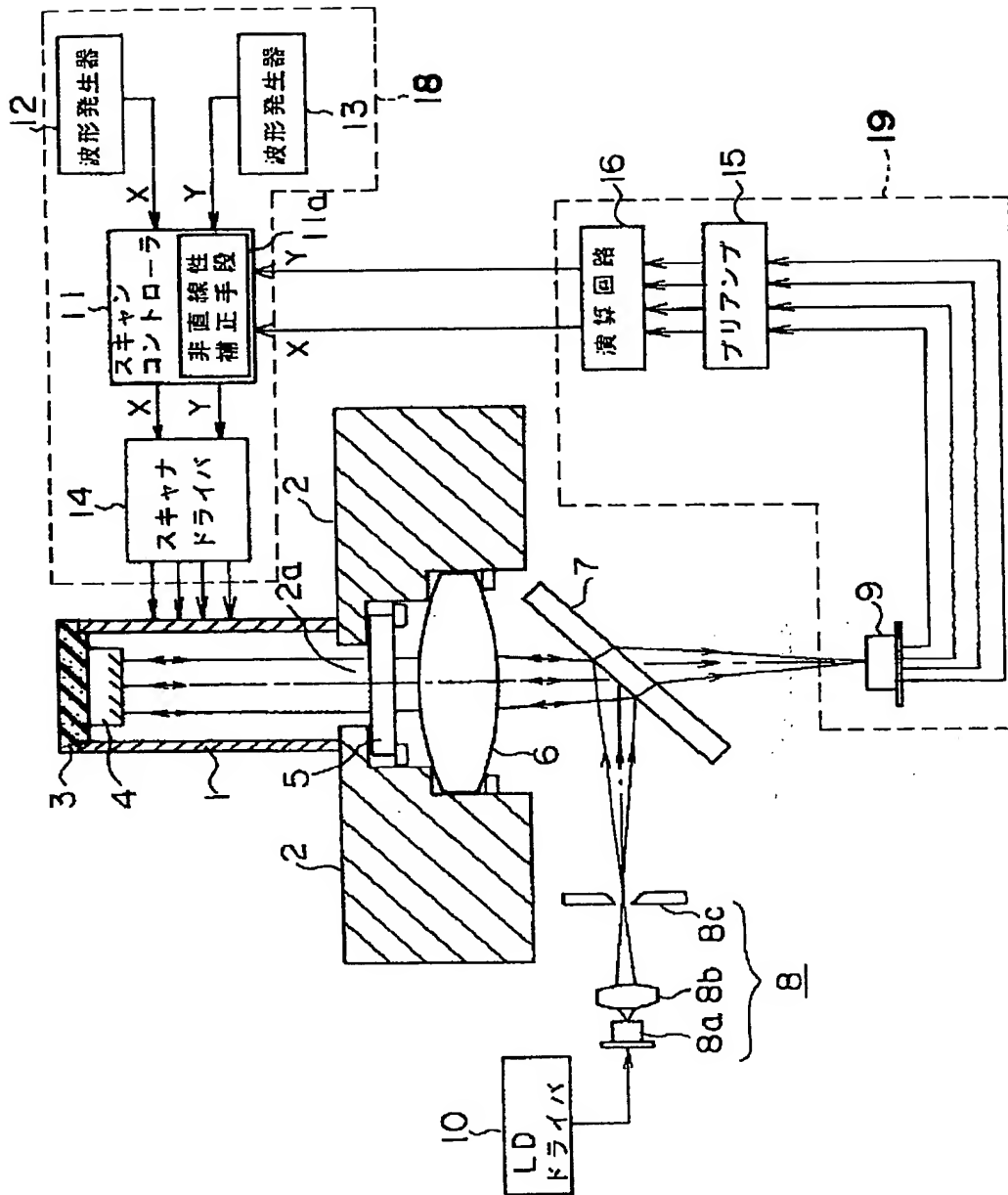
【符号の説明】

1… 圧電体スキャナ、3…ステージ、4…平面鏡、6…コリメータレンズ、8…光源、9…ポジションディテクタ、11…スキャンコントローラ、12…第1の波形発生器、13…第2の波形発生器、14…スキャナドライバ、16…演算回路、19…スキャナ変位検出部、30…試料、80…プローブ。

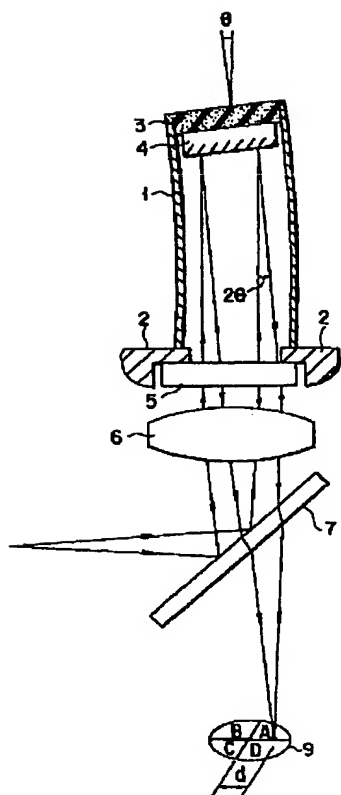
【図6】



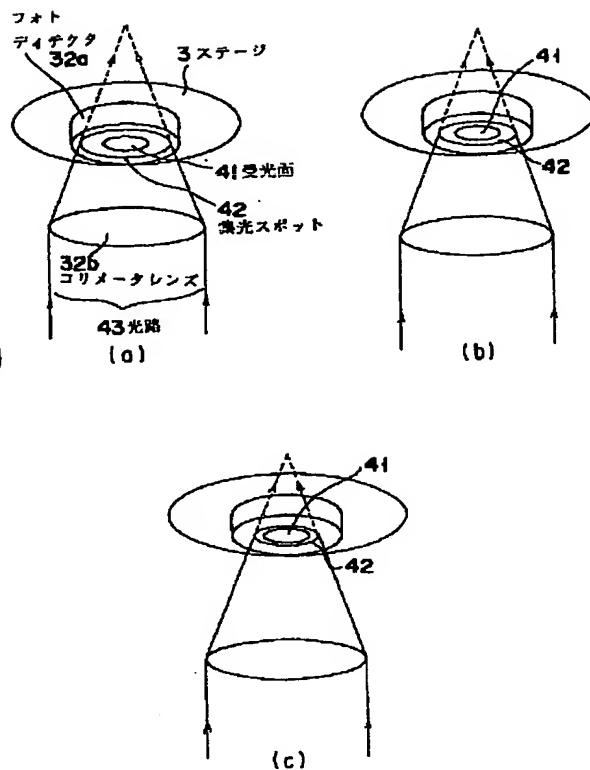
【図1】



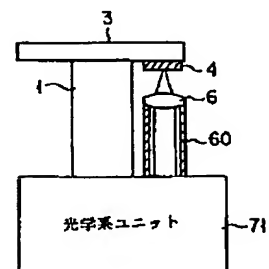
【図2】



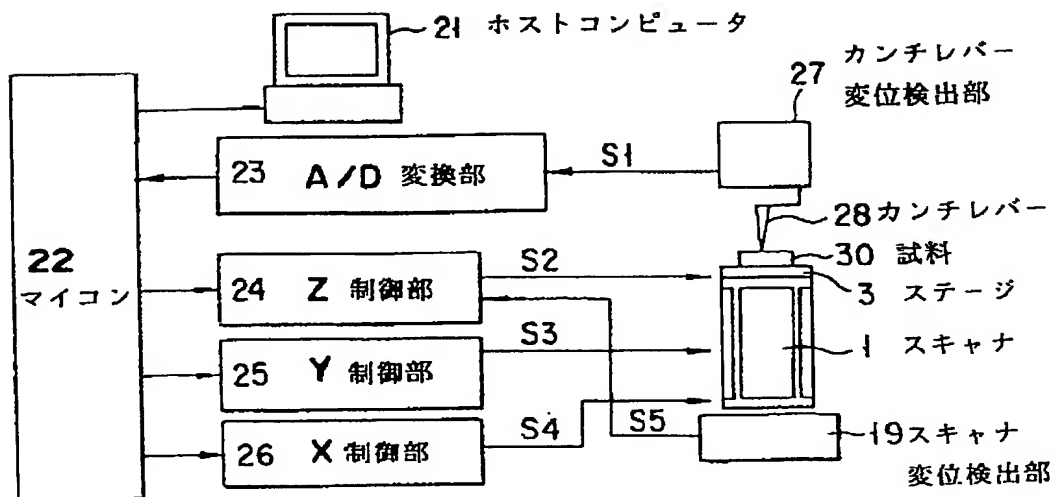
【図5】



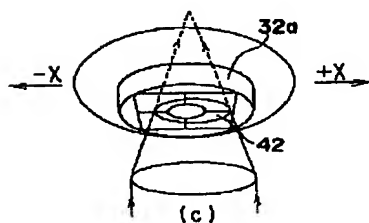
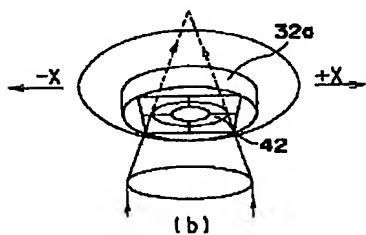
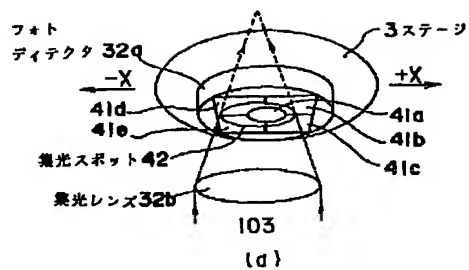
【図15】



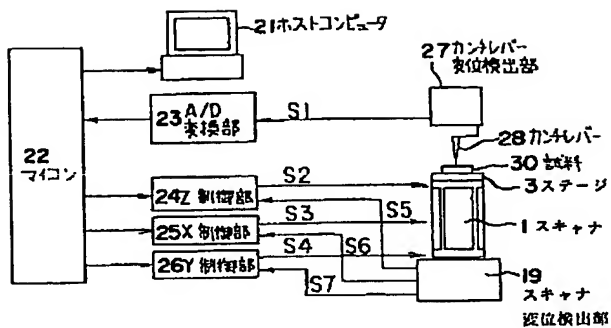
【図3】



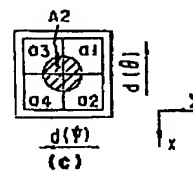
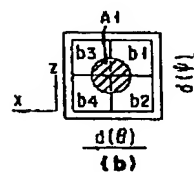
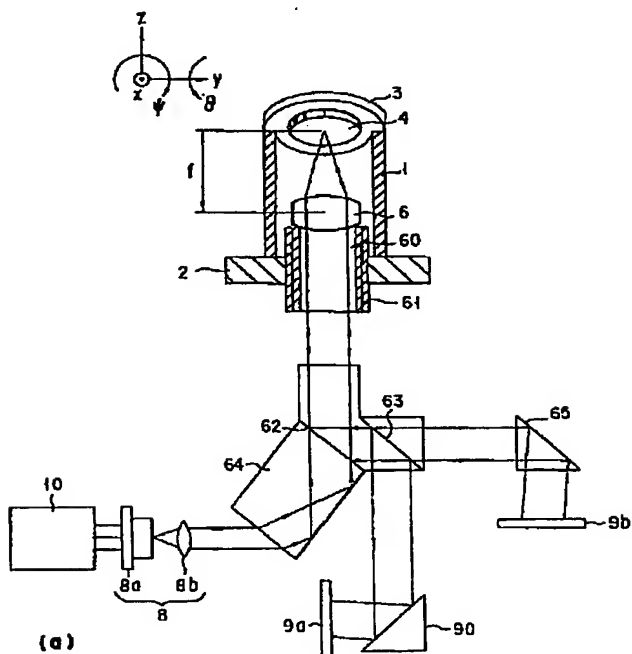
【図7】



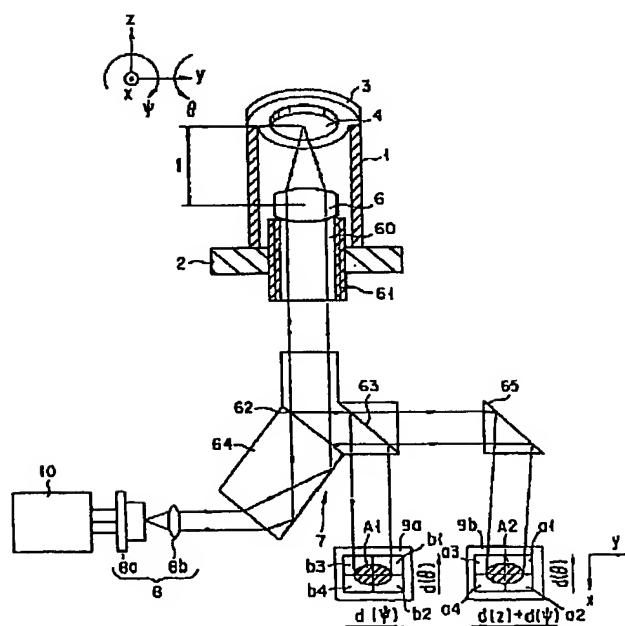
【図8】



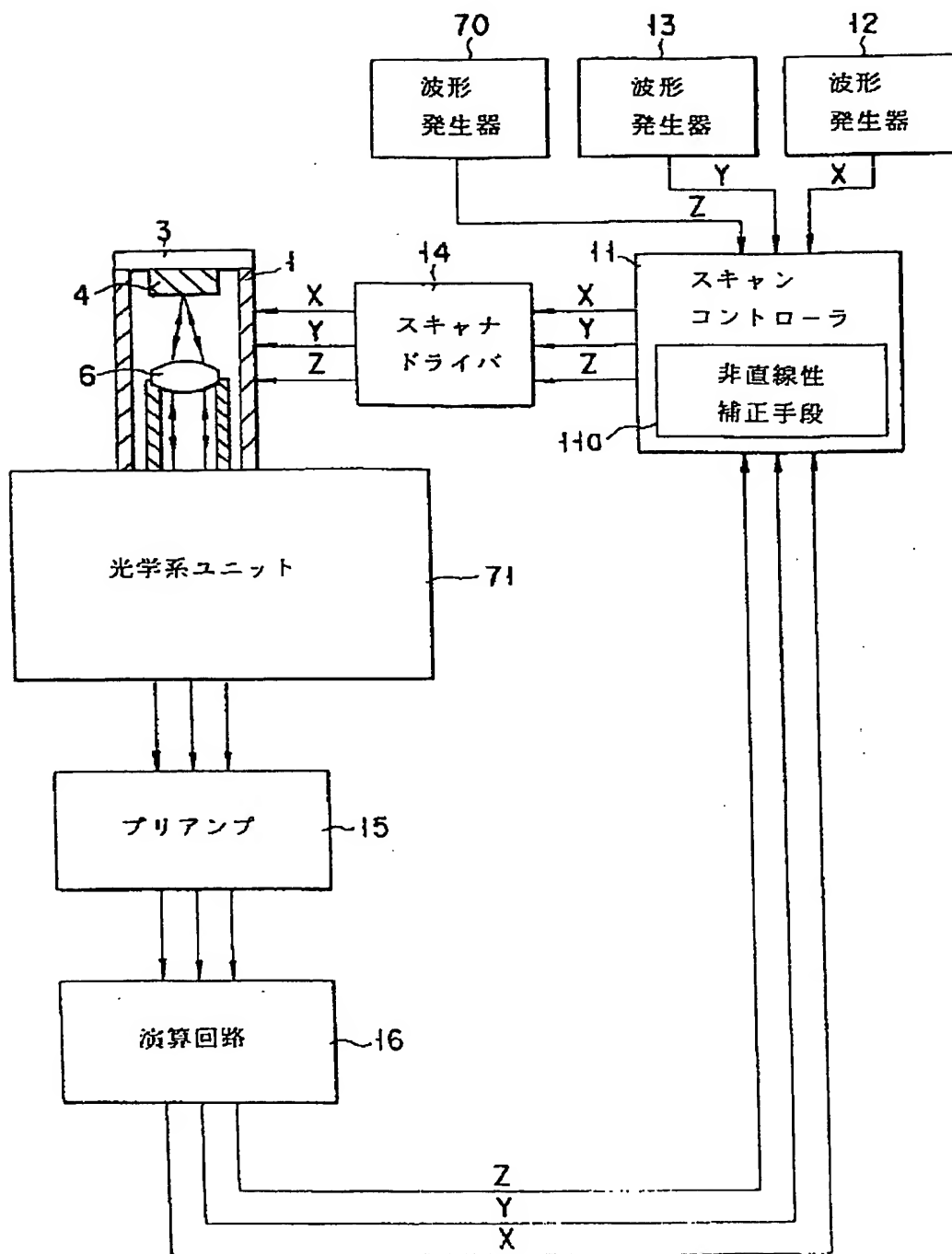
【図14】



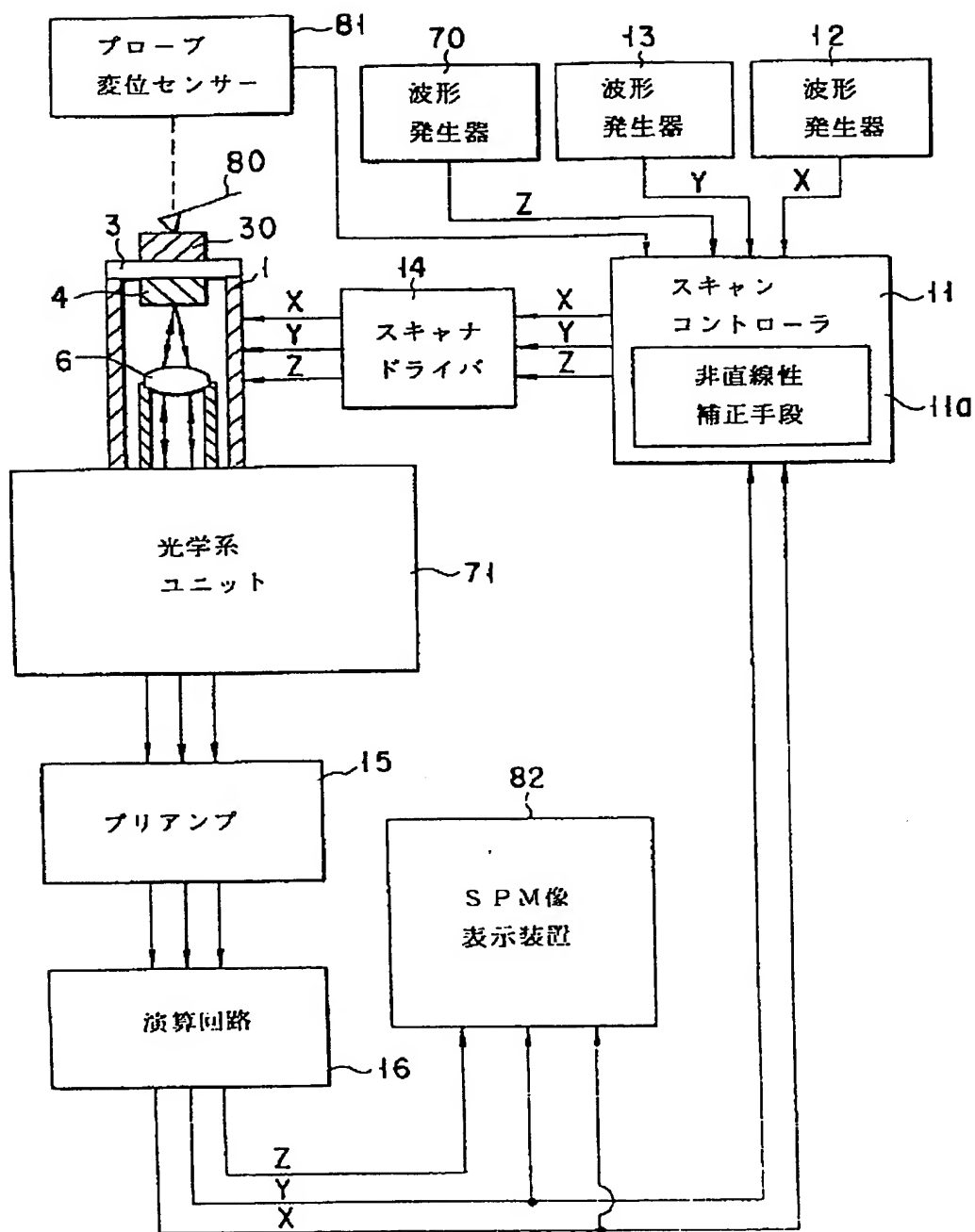
【図9】



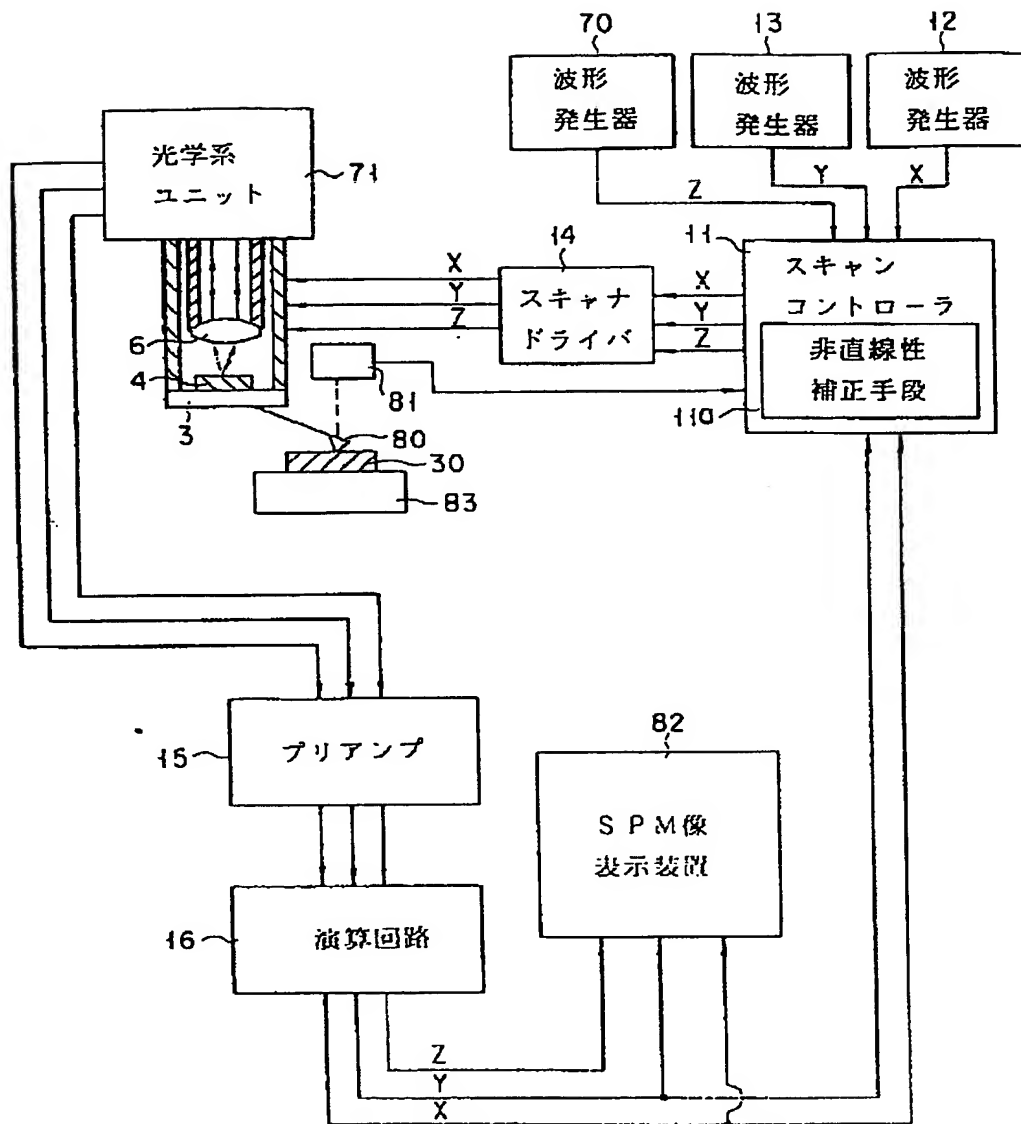
【図10】



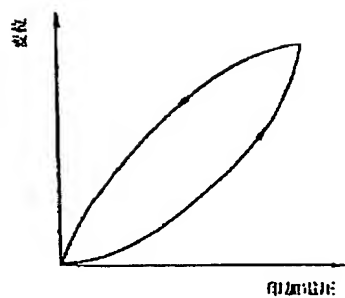
【図11】



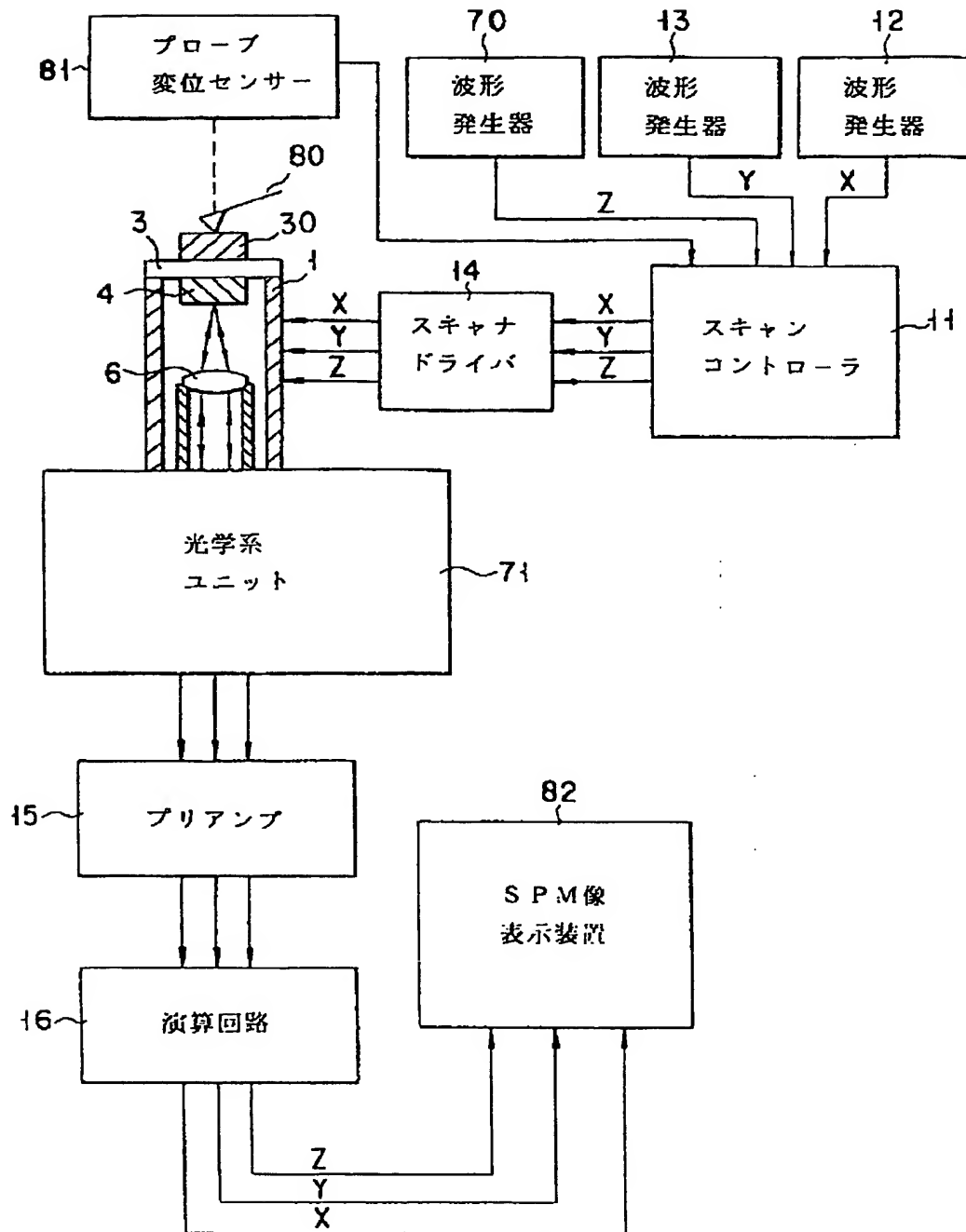
【図 12】



【図 16】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 八木 明
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内